

***INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES***  
**CURSO DE PROMOÇÃO A OFICIAL SUPERIOR DA FORÇA AÉREA**

**2006/2007**



**TII**

**DOCUMENTO DE TRABALHO**

**O TEXTO CORRESPONDE A TRABALHO FEITO DURANTE A FREQUÊNCIA DO CURSO NO IESM SENDO DA RESPONSABILIDADE DO SEU AUTOR, NÃO CONSTITUINDO ASSIM DOCTRINA OFICIAL DA FORÇA AÉREA PORTUGUESA.**

**IMPACTO PROVOCADO PELO VOO EM  
AVIÕES DE ALTA PERFORMANCE NO  
ORGANISMO HUMANO**

**Carlos Jorge Guerreiro Candeias**  
**CAP/PILAV**



**INSTITUTO DE ESTUDOS SUPERIORES MILITARES**

**IMPACTO PROVOCADO PELO VOO EM AVIÕES DE  
ALTA PERFORMANCE NO ORGANISMO HUMANO**

**CAP/PILAV Carlos Jorge Guerreiro Candeias**

Trabalho de Investigação Individual do CPOS/FA

Lisboa 2007



## Índice

|  |     |
|--|-----|
| Introdução.....  | 1   |
| 1. Conceitos de Agilidade.....   | 5   |
| a. Agilidade Estrutural.....   | 6   |
| b. Agilidade dos Sistemas.....   | 7   |
| c. Agilidade das armas .....   | 8   |
| d. Agilidade Operacional.....  | 8   |
| e. Agilidade Humana.....   | 10  |
| f. Modelo de análise.....  | 10  |
| 2. Área Psicológica.....   | 13  |
| a. Consequências cognitivas e psicomotoras.....                          | 14  |
| b. Transmissão de Informação.....  | 15  |
| c. Stress.....   | 16  |
| 3. Consequências Físicas .....   | 16  |
| a. Efeitos Cardiovasculares / G-LOC.....                                 | 17  |
| b. Efeitos Cardiopulmonares .....  | 18  |
| c. Consequências físicas na coluna vertebral .....                       | 18  |
| d. Efeitos Vestibulares e Sensoriais / Desorientação Espacial .....      | 19  |
| e. Fadiga .....  | 21  |
| 4. Selecção e Treino .....   | 23  |
| a. Selecção.....   | 23  |
| b. Treino .....  | 26  |
| Conclusão .....  | 28  |
| Bibliografia.....  | 32  |
| Anexo A – HFACS (Human Factors Analysis and Classification System) ..... | A-1 |

## **Índice de figuras**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Manobrabilidade e Controlabilidade .....                       | 7  |
| Figura 2 - Comparação de agilidade estrutural entre F-22 e F-16.....      | 7  |
| Figura 3 – Esquema da agilidade dos sistemas segundo Boyd.....            | 9  |
| Figura 4 - A Agilidade Operacional definida pelo “Working Group” 27 ..... | 10 |
| Figura 5 – Nível três da HFAS (Pré-condições para actos inseguros) .....  | 11 |
| Figura 6 – Nível quatro da HFCAS (Actos inseguros).....                   | 12 |
| Figura 7 – Agilidade humana no contexto da agilidade operacional .....    | 24 |
| Figura 8 – Estrutura de treino para aviões super ágeis .....              | 26 |

## **Índice de Quadros**

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Quadro síntese do modelo de análise ..... | 13 |
|--|----|

## **Resumo**

A aviação militar atingiu nos últimos anos uma enorme evolução que está a impor ao ser humano um contínuo aumento de performance. Neste trabalho pretende-se analisar quais os factores humanos que presentemente podem comprometer a performance do piloto em voo, como resultado da operação em aeronaves de alta performance.

A evolução das estruturas das aeronaves, dos sistemas e das armas levou à criação de um novo conceito, o de agilidade operacional, que agrega todas estas evoluções. É fundamental definir primariamente os conceitos de agilidade das aeronaves e de agilidade humana.

Na relação piloto / máquina as áreas que provocam directamente ou indirectamente maior impacto no piloto, e que são estudadas neste trabalho, são: Área Psicológica, Área Física e a Área de Selecção e Treino.

Chegou-se à conclusão que existem diversos factores que causam impacto no organismo humano resultantes da operação neste tipo de aeronaves.

A cada avanço tecnológico deve corresponder um progresso ao apoio ao piloto, dos procedimentos e das técnicas de treino, a fim de limitar as consequências resultantes do voo.

Apesar de todos estes factores, os pilotos continuam ainda a ser capazes de desempenhar o seu papel a bordo deste tipo de aeronaves.

As instituições têm que se precaver no futuro e perante a aquisição de novos sistemas de armas, apostar na selecção, na formação e na preparação dos pilotos para as missões que lhes vão ser atribuídas, aos comandos de aeronaves cada vez mais sofisticadas e exigentes.

## **Abstract**

Military aviation in recent years reached an enormous evolution that imposed to the human being a continuous increase of performance. In this work, it is intended to analyze which of the human factors that presently take the pilot to compromise its performance in flight, as a result of the operation in aircraft of high performance.

The evolution of the structures of the aircraft, the systems and the weapons led to the creation of a new concept, operational agility that added to all these evolutions. It is fundamental to define primarily the concepts of agility of the aircraft and the concept of agility human being.

In the relation pilot/machine the areas that provoke directly or indirectly bigger influence in the pilot and that are studied in this work are: Psychological Area, Physical Area and the Area of Selection and Training.

It is concluded that there exist diverse factors that cause impact in the human organism as a result of the operation in this type of aircraft.

To each technological advance, it must correspond to a progress to the support to the pilot, of the procedures and the techniques of training, in order to limit the resultant consequences of the flight.

Although all these factors, the pilots still continue to be capable to play its role on board of this type of aircraft.

The institutions have to prevent the future and before the acquisition of new systems of weapons to bet in the selection, the formation and the preparation of the pilots for the missions that are going to be attributed to them, at the commands of sophisticated and extremely demanding aircraft.

### **Palavras-chave**

AGILIDADE ESTRUTURAL, AGILIDADE SISTEMAS, AGILIDADE ARMAS, AGILIDADE OPERACIONAL, ALTA PERFORMANCE, FACTORES HUMANOS, FACTORES FÍSICOS, FACTORES PSICOLÓGICOS, CAPACIDADE COGNITIVA, CAPACIDADE PSICOMOTORA, INFORMAÇÃO, G's, FADIGA, STRESSE, SELECÇÃO, TREINO, *COCKPIT*.



## Lista de abreviaturas

|       |   |
|-------|---|
| AGARD | – Advisory Group for Aerospace Research & Development                                       |
| ASEM  | – Aviation, Space, and Environmental Medicine   |
| DE    | – Desorientação Espacial  |
| FAP   | – Força Aérea Portuguesa  |
| Ft    | – Feet  |
| G`s   | – Força aplicada no piloto resultante do seu peso e que varia consoante aceleração do avião |
| G-LOC | – G-Lost of Conscience  |
| HFACS | – Human Factors Analysis and Classification System  |
| HFM   | – Human Factors and Medicine  |
| MLU   | – Mid Life Update   |
| NASA  | – National Aeronautics and Space Administration   |
| NATO  | – North Atlantic Treaty Organization  |
| OSVU  | – Oficial de Segurança de Voo da Unidade  |
| PVI   | – Pilot Vehicle Interface   |
| RTO   | – Research and Technology Organization  |
| TR    | – Technical Report  |
| TV    | – Thrust Vectoring  |
| WG    | – Working Group   |

## **Introdução**

O ser humano sempre teve vontade de deixar o seu meio natural, onde se desenvolveu, e de conquistar outros ambientes para os quais não estava adaptado, como o marítimo e aéreo. O ambiente aéreo demonstrou ao longo dos anos ser um dos mais difíceis, além de ter sido o último a ser alcançado e é, sem dúvida, o que tem levado o homem a procurar cada vez mais soluções para o explorar de modo mais rápido e eficiente.

### **Introdução ao tema e definição do contexto em que o estudo se desenvolve;**

A aviação militar atingiu nos últimos anos uma enorme evolução que está a impor ao ser humano um contínuo aumento de performance, de modo a que este consiga desempenhar o seu papel como parte integrante da máquina.

Desde de 1970 que existem na NATO (*North Atlantic Treaty Organization*) organizações viradas para o estudo específico do desenvolvimento das aeronaves e mais recentemente viradas para a análise do impacto que os factores humanos tem na interacção com as máquinas. Esta análise aponta, por um lado, para uma melhoria do desempenho das aeronaves no cumprimento das missões e por outro para a influência desse desenvolvimento no corpo humano. Como tal, esta investigação visa apurar o impacto dos factores humanos na operação de aeronaves de alta performance.

### **Justificação do estudo;**

Nos últimos tempos tem existido uma grande preocupação, por parte de quem é responsável pela segurança em voo, em se manter sempre actualizado. Deste modo, é essencial possuir-se toda a informação sobre: de que modo está o piloto a ser afectado pelo voo e que factores afectam a sua performance.

Será que ele continua a ser capaz de desempenhar as funções que lhe são pedidas? Em 2000 o grupo que trabalhava para a construção do modelo de classificações de acidentes, HFACS (*Human Factors Analysis and Classification System*) concluiu que 70% a 80% dos acidentes estão relacionados com os factores humanos.

Este tipo de informação é importante primariamente para quem opera este tipo de aeronaves pois permite identificar os factores humanos a que estão sujeitos, e para a instituição, porque permite com base em dados concretos, definir critérios de selecção mais rigorosos e programas de treino específicos a ministrar aos seus pilotos.

## **Objecto de estudo e sua delimitação;**

A FAP (Força Aérea Portuguesa) opera há cerca de 11 anos a aeronave de alta performance – F-16. Muito embora os testes de selecção médica sejam exigentes nunca foi feito qualquer estudo que fundamente o impacto provocado no organismo humano pela operação continuada em aeronaves de alta performance. Este é o objectivo primário que dá origem ao tema deste trabalho.

Estudos como estes são feitos noutros países e demoram anos, uma vez que apontam para um rastreio médico da capacidade física dos pilotos ao longo da sua vida operacional, para que no fim se possa chegar a uma conclusão concreta do desgaste provocado pelo voo.

Neste trabalho não se pretende saber quais as consequências da operação contínua em aviões de alta performance e se no futuro estas afectam fisicamente o piloto, mas sim, analisar quais os factores humanos que presentemente levam o piloto a comprometer a sua performance em voo.

## **Definição dos objectivos da investigação;**

Pretende-se mostrar quais os factores humanos que afectam os pilotos nos tempos modernos. Com os resultados da investigação pretende-se saber de que forma é que esses factores prejudicam o seu desempenho e se podem vir a conduzir a situações de risco.

Este estudo tem o intuito de colmatar algumas lacunas de informação que possam existir e apresentar pistas para se tomarem medidas preventivas de acompanhamento, entre outras, para um melhor conhecimento e preparação dos pilotos militares.

## **Objectivos específicos:**

Para chegar ao objectivo geral, detectar quais os factores que resultam na operação das aeronaves de alta performance, primeiro teve-se primeiro que chegar ao conceito que foi levantado acerca da agilidade operacional da aeronave para depois se poder analisar quais as suas características e em que áreas ela afecta o ser humano.

Para isso colocaram-se outras perguntas:

O que caracteriza nos nossos dias uma aeronave de combate de alta performance?

Quais as factores físicos e psicológicos resultantes do voo?

Como se pode limitar estes factores?

## **Metodologia**

Para dar início a esta investigação partiu-se, inicialmente, da seguinte pergunta:

**Com o evoluir das aeronaves de alta performance quais os factores humanos que afectam o desempenho do piloto militar?**

Esta pergunta surge da recente e actual preocupação das Forças Aéreas de vários países para o problema ainda constante dos acidentes aéreos que são atribuídos ao erro humano e que levanta outra questão:

O porquê dos acidentes por erro humano, se tem havido um melhoramento significativo nas aeronaves?

Para chegar às respostas a estas perguntas a investigação partiu inicialmente da análise já efectuada do que é uma aeronave de alta performance e do novo conceito de “*Agile Aircraft*” e das suas características, para depois se poder averiguar em função dessas características, como é que elas alteram o organismo humano.

## **Definição de termos**

**Aeronave de alta performance** – Aeronave capaz de manter +6G's (força aplicada no piloto resultante do seu peso e que varia consoante aceleração do avião), constantes.

**Agilidade** – Conceito relacionado com mobilidade e destreza, capacidade de ser expedito.

**Factores Humanos** – Podem ser definidos como a preocupação tecnológica para otimizar o relacionamento entre pessoas e as suas actividades pela sistemática aplicação das ciências humanas integradas, com o enquadramento do sistema de engenharia.

**Ciências Humanas** – **Contemplam** todos os estudos das estruturas e natureza humana, as suas capacidades, limitações e seu comportamento.

**Capacidades Cognitivas** – Significa a aquisição de um conhecimento através da percepção.

**Capacidades psicomotoras** – Surgem da coordenação de um processo (cognitivo) sensorial ou percepção e uma actividade motora.

**Fadiga** – Conceito definido no Cap. 3

**Desorientação Espacial** – Perda na capacidade de se situar espacialmente, resultante de sensações erradas produzidas pelos sistemas vestibular e sensorial.

## **Organização do estudo**

### **1 – Agilidade da aeronave**

Este capítulo define o novo conceito que surge do estudo das novas aeronaves de combate de alta performance, que leva a um conceito final de agilidade operacional e às suas possíveis consequências.

### **2 – Consequências psicológicas**

Neste capítulo são abordados os factores humanos ao nível psicológico provocados pelo voo em aeronaves de alta performance e são abordadas duas áreas a psicomotora / cognitiva e a área de processamento de informação.

### **3 – Consequências físicas**

No capítulo 4 são expostas as consequências físicas que o voo em aviões de alta performance provoca no organismo humano ao nível cardiovascular, cardiopulmonar, vestibular, sensorial e fadiga.

### **4 – Selecção e treino do piloto**

Neste capítulo são expostas algumas considerações como deve ser a selecção e o treino dos pilotos que visam operar aeronaves de alta performance.

### **Conclusões**

Breve conclusão sobre os pontos acima focados referindo a importância da selecção e do treino e referencia para a Força Aérea Portuguesa de se manter actualizada sobre este assunto.

## 1. Conceitos de Agilidade

A aviação passou em 104 anos de um voo de poucos metros, para aeronaves que voam a 3 vezes a velocidade do som, que conseguem voar durante muitas horas seguidas em quase todas as condições meteorológicas de dia ou de noite e desempenhar um diversificado número de tarefas cada vez mais complicadas

Durante a II Guerra Mundial os pilotos voavam aviões de combate ar - ar que na altura eram considerados como evoluídos e que ao nível das suas capacidades de manobra eram superiores aos outros. Foi verificado nessa altura que o elevado número de acidentes não tinha como razão primária a falta de treino dos pilotos, mas sim da selecção que se fazia para o recrutamento destes, já que mais tarde se concluiu que a maior parte dos pilotos seleccionados não reuniam condições para voar. Foi a partir de então que se começou atribuir uma maior importância e preocupação na selecção dos voluntários, de modo a que quem fosse seleccionado estivesse apto para poder executar as missões neste tipo de aviões.

Olhando para as características, de um avião considerado de alta performance, pergunta-se: Quais as exigências imputadas ao piloto para operar no limite da aeronave? É necessário ao piloto elevados níveis de destreza em voo, julgamento, resistência, capacidade de manusear todos os sistemas e rapidez de acção, ou seja, excelentes capacidades físicas e psíquicas.

A aeronave, só por si, provoca impactos no organismo, físicos e psicológicos. Quem voa este tipo de aeronaves tem a noção em que ambiente é que elas são utilizadas, quando necessário, e como tal o treino tem de ser o mais próximo da realidade.

Este capítulo e os que se seguem têm como base a análise que deriva de uma preocupação contínua de uma das organizações da NATO que é a RTO, (*Research and Technology Organization*) na área de HFM, (*Human Factors and Medicine*) que veio substituir a AGARD (*Advisory Group For Aerospace Research & Development*) criada em 1952, que se debruçam sobre este assunto e tem alertado continuamente para os países a desenvolver estudos e investigações na área do desenvolvimento dos aviões e na área dos Factores Humanos na aviação. Outra agência neste ramo é a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que tem continuamente efectuado investigação na área dos factores humanos.

Como ponto de partida para este estudo foi iniciado em 1990 pela AGARD *Advisory Report - 314* elaborado pelo *Working Group (WG) 19*, a definição do conceito de

“*Agile Aircraft*” já na perspectiva do que seria a aviação militar na vertente de caças de alta performance, tendo em conta as missões a desempenhar por estas aeronaves e as dificuldades que futuramente iriam surgir por parte do ser humano.

Nos últimos anos a evolução tecnológica tem-se reflectido nas aeronaves de tal modo a que, as suas capacidades de voo, ou seja a performance, atingiram valores de velocidade e capacidade de manobra extremamente elevados. Mas presentemente esta evolução não é a única preocupação, actualmente se as plataformas de armas não estivessem associadas aos sistemas, nos teatros de guerra modernos seriam completamente inúteis.

Esta evolução das estruturas das aeronaves, dos sistemas e das armas levou à criação de um novo conceito, agilidade operacional, que agrega todas estas evoluções. Este conceito é importante para se poder compreender alguns dos factores que afectam o ser humano aquando aos comandos de uma aeronave de alta performance.

Visto que já existem limitações humanas resultantes do voo em aeronaves convencionas, é necessário ver como é que essas limitações são verificadas neste tipo de aeronaves. Para tal, é fundamental definir primariamente os conceitos de agilidade das aeronaves.

**a. Agilidade Estrutural**

Agilidade da Estrutural é definida pelo WG 19 como:

“ A capacidade que uma aeronave tem de rapidamente mudar de velocidade e de vector de voo em todos os eixos.”

O conceito de Agilidade da Estrutural tem em consideração dois factores base: a manobrabilidade que é a capacidade de alterar a magnitude e a direcção do vector velocidade, e a controlabilidade que se resume na capacidade que a aeronave tem de rodar em todos os eixos, em torno do seu centro de gravidade independente do vector de voo. A figura 1 demonstra como esses factores são aplicados pela aeronave na sua manobra.

As novas aeronaves de alta performance foram aperfeiçoadas em determinadas áreas de modo a melhorar a sua agilidade da estrutural, sofreram melhorias ao nível do desenho aerodinâmico, da propulsão, do melhoramento dos motores (porque motores mais potentes dá-lhes um rácio peso potência importante que permite recuperar rapidamente energia), da aplicação de controlos “*Fly By*

Wire” e mais recentemente também ao nível da propulsão e vectorização, que possibilita outro tipo de manobras de voo com ângulos de ataque mais elevados.

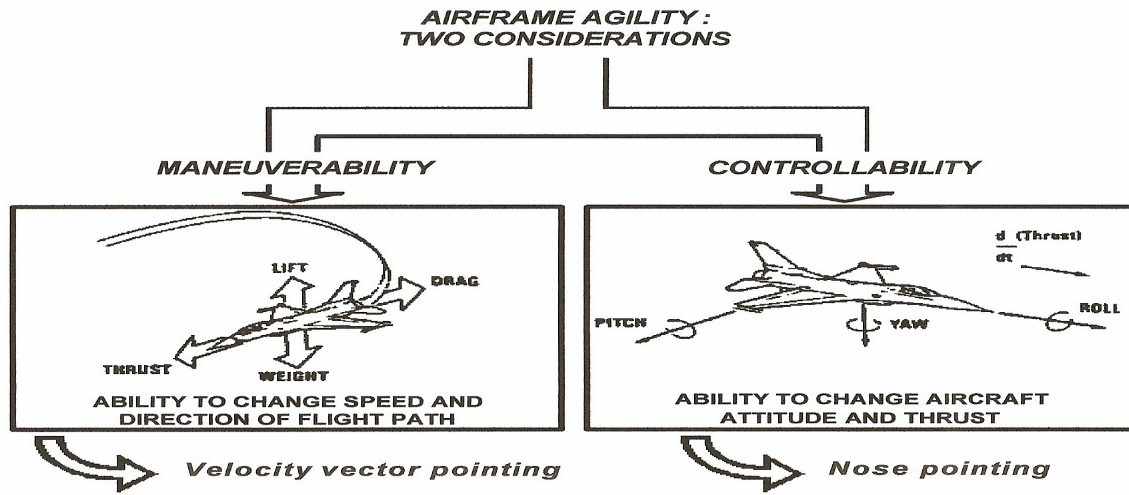
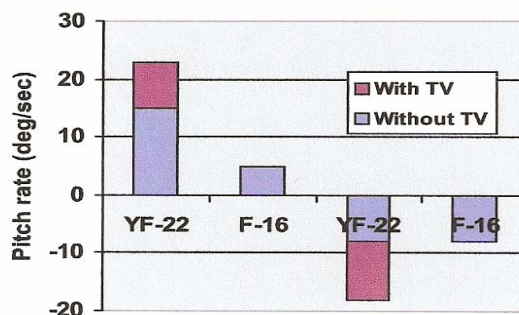


Figura 1 - Manobrabilidade e Controlabilidade

A figura 2. apresenta um gráfico de comparação entre o F-22, avião actualmente em desenvolvimento, e o F-16 na razão de graus da variação de ângulo de ataque por segundo “Pitch Rate”. Pode-se verificar que o F-22 com impulso vectorizado é quase o dobro do F-16.

Que consequências implicam para o piloto?



Legenda: TV (Thrust Vectoring) – Propulsão Vectorizada

Figura 2 - Comparação de agilidade estrutural entre F-22 e F-16

## b. Agilidade dos Sistemas

Agilidade dos Sistemas é definida pelo WG 19 como:

“ A capacidade de rapidamente mudar as informações dos sistemas de modo a que o piloto tenha em mente a nova situação, para poder empregar as suas armas.”



Os sistemas são, hoje em dia, o coração de uma aeronave de combate. São eles os responsáveis por dar ao piloto toda a informação que ele precisa para decidir rapidamente e para completar a missão. Estes vão desde os radares de detecção, aos sistemas de comunicações (que permite a passagem segura e na hora de informações), sistema a bordo que ajudar o piloto no seu voo, informação disponibilizada nos capacetes (que facilita durante todas as acções o piloto), melhoramentos de sistemas de navegação, vários *displays* e rápidas informações para a designação de alvos, etc.

Apesar de estes sistemas melhorarem o desempenho nas missões provocam um aumento da carga de trabalho para o piloto dentro do *cockpit*, que se deve ter em consideração. Todas estas tecnologias emergentes têm um objectivo que passa pela rapidez de acesso a toda a informação, para que se possa tomar acções cada vez mais distantes do alvo e de forma a colocar eficazmente as armas no local determinado a atacar. Assim surge o último factor de agilidade, o armamento.

#### **c. Agilidade das armas**

Agilidade das armas é definida pelo WG 19 como:

“A capacidade de rapidamente seleccionar a arma apropriada, tendo em conta as suas características e as informações do sistema, de modo a conseguir responder rapidamente a acções hostis”.

As armas são construídas com um objectivo específico. Podem ser, ar - ar, ar - chão ou armas chamadas de nova geração, sendo estas armas não letais e armas multi-usos. Nos últimos anos a agilidade das armas independente do seu uso aponta para algumas características essenciais como a precisão, alcance, capacidade de “disparar e esquecer”, a sua própria manobrabilidade e a velocidade, porque nos conflitos modernos é crucial que não existam armas a atingirem alvos errados ou a causarem danos colaterais.

Após a definição dos três conceitos de agilidade surge como resultado a Agilidade Operacional.

#### **d. Agilidade Operacional**

Agilidade Operacional é definida pelo WG 19 como:

“A capacidade de adaptar, responder rapidamente e precisamente em segurança e com propósito de modo a maximizar o efeito da missão.”

A forma de se poder avaliar a agilidade operacional é analisando no conceito de *Boyd* (piloto) de 1988, sobre o que este autor pensava que devia ser a agilidade do sistema de armas, que se mostra na figura 3., em que se verifica o tempo que é necessário desde que o piloto detecta o alvo até que o abate. A Agilidade Operacional visa, como foi analisado em 2001 por outro grupo de trabalho, no (NATO RTO Technical Report – 015), o WG 27 diminuir os tempos definido por *Boyd*.

A agilidade operacional é referida por este grupo como resultante da contribuição das três agilidades referidas anteriormente, e como se verifica na figura 4., estas complementam-se ao mesmo nível de modo a que a sua prestação contribua para a concretização da missão de forma eficiente e eficaz, no mínimo tempo possível.

Não existe Agilidade Operacional se estes três elementos não se completarem. O melhor exemplo disto é comparar o F-16, uma versão fraca ao nível de sistemas e de armas mas que se pode dizer ter agilidade estrutural, e a versão F-16 MLU (*Mid Life Update*) já aperfeiçoada ao nível de sistemas e capacidade de levar armamento inteligente. Com a mesma capacidade estrutural do primeiro atinge um nível mais elevado do que se chamou Agilidade Operacional.

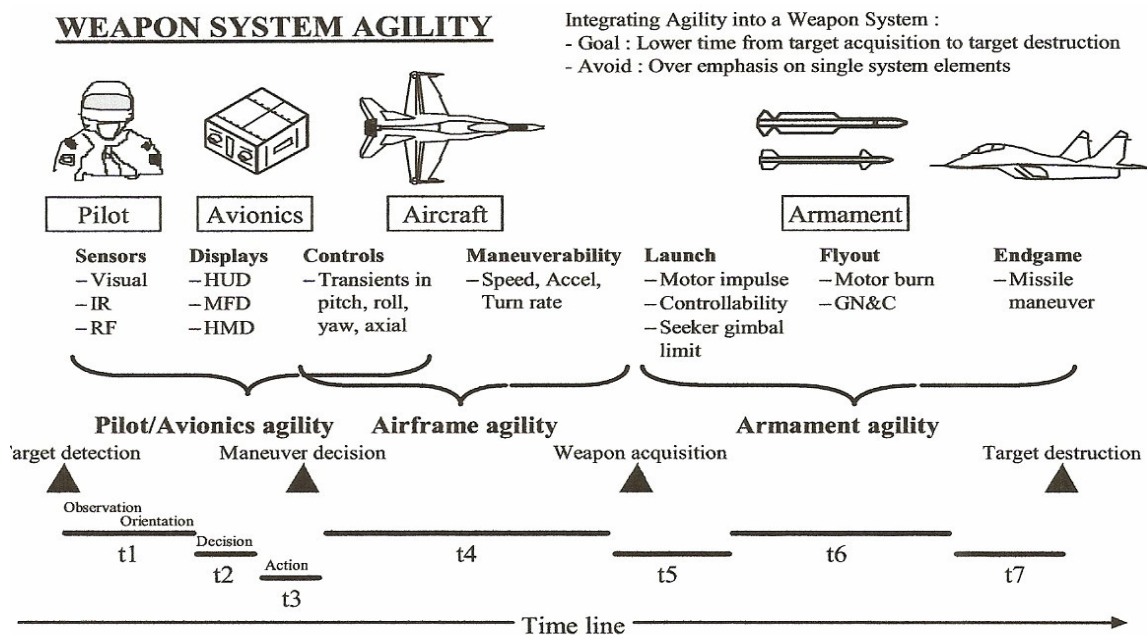


Figura 3 – Esquema da agilidade dos sistemas segundo Boyd



Figura 4 - A Agilidade Operacional definida pelo “Working Group” 27

Mas para atingir a capacidade operacional existe um elemento de ligação entre as três que é o piloto. O WG 27 concluiu com este estudo que seria adequado definir outro conceito de agilidade, o de Agilidade Humana.

#### e. Agilidade Humana

Agilidade Humana é definida pelo WG 27 como:

“A capacidade que o piloto tem de gerir as três capacidades técnicas acima referidas de acordo com a situação operacional que está a viver.”

É aqui que se coloca o problema e as questões levantadas pelo WG 27. Tendo em conta este conceito parte-se da análise que, o que continua a ser importante no meio destes conceitos todos é o *interface* entre o piloto e a máquina, pois ele é que controla a situação táctica e acaba por ser o piloto o último elemento para atingir a agilidade operacional. Levantam-se as seguintes hipóteses:

**Hipótese 1** - O piloto continua a ser capaz de assimilar toda a informação necessária à boa resolução da missão.

**Hipótese 2** - O piloto tem evoluído ao mesmo ritmo dos aviões.

**Hipótese 3** - O piloto com treino adequado é capaz de resistir fisicamente e psicologicamente às exigências do voo imposto pela aeronave.

#### f. Modelo de análise

Considerando o problema proposto e sabendo à partida que existe um enorme número de factores que afectam o piloto. Com que base é que é feita a escolha?

Em Setembro de 2006, no Seminário Internacional de Educação Física, o Major Piloto Aviador João Gonçalves, piloto de F-16 e OSVU (Oficial de Segurança de Voo da Unidade), deu um briefing sobre o impacto das variáveis fisiológicas do voo num piloto. Na perspectiva de piloto ele caracteriza o ambiente do *cockpit* como sujeito a acelerações elevadas, variações de pressões, ambiente seco, ruídos, complexidade dos sistemas, stresse da missão e cansaço.

Mas que factores se revelam mais importantes e que podem comprometer o desempenho do piloto?

Uma das formas possíveis para seleccionar esses factores é partir da análise do HFACS (*Human Factor Analysis and Classification System*), modelo que é usado para tentar chegar às causas dos acidentes e verificar nesse modelo quais os factores que levam a determinadas causas.

O modelo de investigação é composto por quatro níveis de influência tendo em conta que as causas dos acidentes pela HFACS apontam para um maior número nos dois níveis mais baixos, quais os factores que estão associados a esses níveis.

Nas figura 5 e na figura 6 estão representados os dois níveis mais baixos desta classificação, Pré-condições Para Actos Inseguros e Actos Inseguros. É na análise destes dois níveis que surgem três aéreas de preocupação, uma vez que são as que se manifestam em maior número nas causas apresentadas. As causas e todo o modelo de análise do HFACS encontram-se no Anexo A.

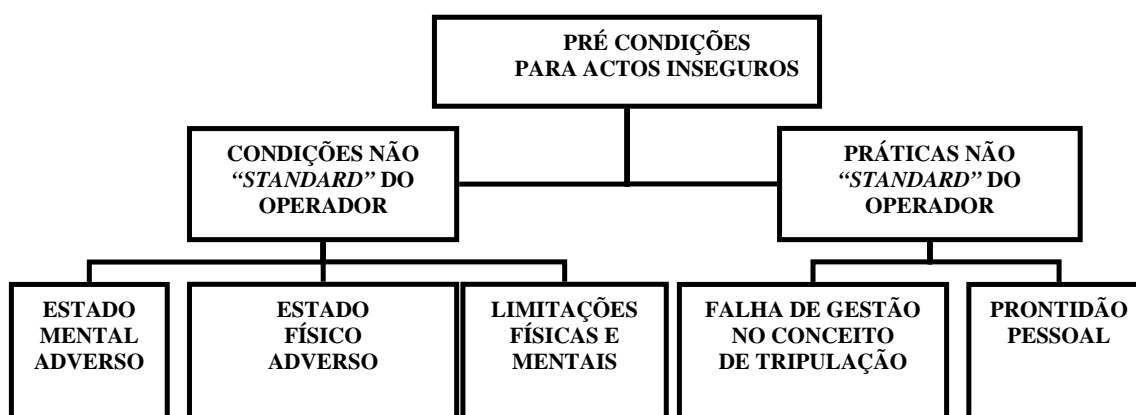


Figura 5 – Nível três da HFAS (Pré-condições para actos inseguros)

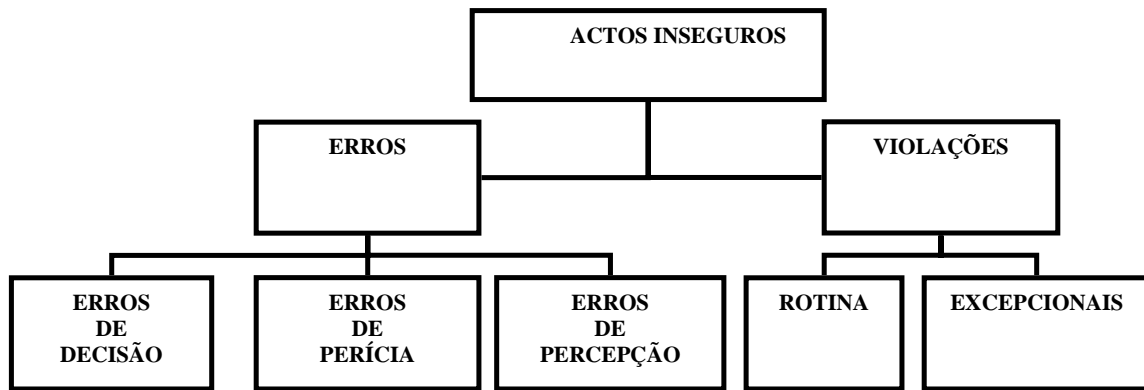


Figura 6 – Nível quatro da HFCAS (Actos inseguros)

Na relação piloto e máquina as áreas que provocam directamente e indirectamente maior impacto no piloto e que levantam maior número de possíveis causas em acidentes são:

Área Psicológica – carga de trabalho a bordo, percepção da situação, complexidade da missão, Stresse;

Área Física – protecção aos G's, desorientação espacial, doença de descompressão, fadiga;

Área de Selecção e Treino – processo de selecção, programa de treino;

As consequências acima referidas irão ser abordadas nos capítulos seguintes pois serão estas a responder à pergunta de partida, para isso vai ser usado o quadro de síntese do modelo de análise seguidamente apresentado no quadro 1.

## Quadro síntese do modelo de análise

| Conceitos        | Dimensões    | Variáveis   | Indicadores   |
|------------------|--------------|---|---|
| Agilidade        | Aeronave     | Estrutura   | Acelerações<br>Manobrabilidade<br>Controlabilidade  |
|                  |              | Sistemas  | Quantidade de informação<br>Qualidade de informação   |
|                  |              | Armas   | Velocidade<br>Precisão  |
|                  | Operacional  | Missão  | Eficácia<br>Rapidez   |
|                  | Humana       | Seleção   | *Processo de seleção  |
|                  |              | Treino  | *Programa de treino<br>* (definidos no Capítulo 4)  |
| Factores Humanos | Psicológicos | Capacidades Cognitiva<br><br>Capacidade Psicomotora<br><br>Stresse                              | Raciocínio<br><br>Memoria<br><br>Capacidade de movimentos<br><br>Regressão mental<br><br>Bloqueio mental                                    |
|                  | Físicos      | Resistência a G'S<br><br>Efeitos Cardiovasculares<br><br>Efeitos Cardiopulmonares<br><br>Fadiga | G-LOC<br><br>Desorientação espacial<br><br>Doença de descompressão<br><br>Degradação de percepção<br><br>Dificuldade na execução de tarefas |

Quadro 1 – Quadro síntese do modelo de análise

## 2. Área Psicológica

Na maioria das circunstâncias, os aspectos psicológicos são primordiais na conduta do piloto. Os pilotos militares são preparados para situações extremas e como tal os treinos são bastante intensivos de forma a prepará-los para qualquer situação adversa.

As Consequências Psicológicas são abordadas em duas vertentes:

- Consequências cognitivas e psicomotoras.
- Transmissão de Informação, assimilação da informação pelo piloto e geração de ilusões e desorientações, provocadas pelo excesso ou má interpretação de informações.

**a. Consequências cognitivas e psicomotoras**

No primeiro caso e apesar de haver poucos estudos nesta área alguns autores acreditam que as acelerações contribuem para a redução das capacidades psicomotoras e cognitivas. Se as aeronaves de alta performance são capazes de provocar acelerações e detêm uma elevada agilidade operacional, então as probabilidades da performance do piloto ser prejudicada, aquando da redução das suas capacidades, são maiores.

As acelerações são responsáveis primariamente pela produção de G's. Estes, por sua vez, são produtores de sensações como: redução do campo visual, perda progressiva da sensação de cor e perda de acuidade visual; todas estas sensações vão contribuir para uma perda de percepção de informação, que ao nível cognitivo levam o piloto por vezes a um mau julgamento por falta, ou má interpretação de informação.

Ao imaginar-se num teatro de guerra complexo aos comandos de uma aeronave com a capacidade de receber toda a informação e com a potencialidade de rapidamente mudar de missão, torna-se importante tentar limitar estas sensações, porque neste contexto a carga de trabalho que o piloto tem dentro do "*cockpit*" é imensa e ele necessita de avaliar correctamente todas as informações, para poder tomar uma decisão eficaz.

Estas acelerações diminuem também as capacidades de desempenhar tarefas psicomotoras. No trabalho realizado pelo WG 27 está descrito e estudado que acima de 7 G's as capacidades psicomotoras são reduzidas. Tendo em conta que as aeronaves de alta performance têm cada vez uma maior agilidade de sistemas, é possível que, no futuro, as tarefas que o piloto tem que desempenhar a bordo passem mais pela exploração das suas capacidades cognitivas do que pelas psicomotoras.

**b. Transmissão de Informação**

É no grau da passagem e processamento da informação que a capacidade humana lida directamente com as capacidades dos sistemas pois são estes que são os responsáveis por tratar toda a informação.

Como foi definido previamente a agilidade humana depende muito do ambiente operacional que o piloto está a viver e das informações por ele emanadas. Por sua vez a agilidade operacional possibilita o emprego das aeronaves em ambientes muito complexos. Dentro desta complexidade surge a missão e suas características, o conhecimento requerido ao piloto para completar a missão e a dificuldade que este tem em implementar esses conhecimentos. Esta complexidade depende de vários factores que hoje em dia estão sempre presentes nos teatros de operações e que são na sua generalidade do conhecimento dos pilotos, estes factores são:

O factor tempo, o grupo de trabalho WG 27 em 2001 definiu vários tipos de “tempos” que tem influência na missão e no piloto: tempo para realizar toda a missão, tempo para decidir, tempo para compreender e actuar, tempo para seleccionar a informação mais pertinente em qualquer momento e o tempo de passagem de informação dos sistemas. Todos estes tempos existem e quando afectados por outros factores, falados anteriormente, aumentam consideravelmente, podendo por vezes comprometer a rapidez e execução da missão.

A dimensão da missão pode englobar a multiplicidade de objectivos, factores de risco e sua gestão, em que o piloto por vezes tem que dispor de todos os meios para a realizar.

Por último vem os conhecimentos que o piloto possui para efectuar a missão e a capacidade que tem para os desenvolver. É neste momento que todo o treino que ele teve e a sua experiência são expostos. Muitas vezes, quando o treino e a experiência são reduzidos, aparece outro factor que está associado às consequências psicológicas provocadas pelos aviões e que pode ser inibidor de toda a acção do piloto: o Stresse.

Todos estes factores referentes à missão podem realmente fazer elevar o nível de stresse de modo a prejudicar a missão.



### c. **Stresse**

Apesar de ser quase sempre negado, o stresse inibe a capacidade do piloto de lidar com a informação, isto é, quanto maior nível de informação houver, maior será o stresse e maior dificuldade terá o piloto em aplicar os seus conhecimentos.

O stresse pode manifestar-se através de várias formas como: a visão em túnel, irritação excessiva, regressão mental, vontade de actuar a todo o custo e por vezes o simples bloqueio mental. Se englobarmos todos os factores provocados pelas aeronaves de alta performance numa situação real, este poderá ser o estado psicológico final.

A importância do estudo destes quatro factores é sustentado na análise dos estudos publicados em várias revistas da especialidade como na ASEM, (*Aviation, Space, and Environmental Medicine*) em Outubro de 2006, onde foi publicado uma análise a 523 acidentes na Força Aérea Chinesa, datados entre 1978 a 2002, concluindo através dos dados recolhidos que 68% dos acidentes ocorreram com aviões de caça. Desses 68%, e utilizando o Sistema de Avaliação HFACS, concluiu-se que 35% dos pilotos se encontravam em estado mental adverso, tendo sido a taxa mais elevada em todas as áreas. Ao aprofundar mais esta questão, pode-se verificar que as degradações psicológicas, principalmente ao nível cognitivo e da percepção, também podem levar o piloto a ter ilusões e por vezes à DE (Desorientação Espacial).

Neste assunto é importante que futuramente haja uma melhoria do *design* dos *cockpits* e dos sistemas nele inseridos para melhorar a utilização das capacidades cognitivas e a percepção situacional do piloto, de modo a evitar certos tipos de ilusões.

Um piloto que não tenha uma boa capacidade cognitiva, ou seja, a capacidade de apreender e utilizar rapidamente toda a informação disponível, não se adequa a este tipo de aeronaves. É provável que no futuro esta seja uma das características de selecção, que um piloto deve possuir para desempenhar as funções numa aeronave de alta performance.

### 3. **Consequências Físicas**

No capítulo anterior verificamos a importância das capacidades psicológicas. No entanto, não podemos menosprezar as capacidades físicas, porque o voo em aeronaves de alta performance provoca um grande desgaste físico que acaba por estar interligado com a

agilidade estrutural da aeronave. Tem-se verificado na sua evolução que o objectivo é conceber aeronaves rápidas e capazes de grandes acelerações, sejam elas lineares ou angulares, acabando por ser estas as grandes causadoras da maior parte dos problemas que surgem aos pilotos a nível físico.

Já foram efectuados diversos estudos sobre as consequências físicas que este tipo de aeronaves provoca nos pilotos, contudo falta verificar até que ponto estas consequências podem ser limitadoras com a permanente evolução, ao ponto de impossibilitar o piloto de controlar a aeronave.

#### **a. Efeitos Cardiovasculares / G-LOC**

Ao nível Cardiovascular é sabido que as acelerações G's trazem problemas ao nível da pressão sanguínea e ao nível respiratório, sendo este problema levado ao extremo com o resultado da perda de consciência por excesso de G's, definido como G-LOC (*G - Lost of Conscience*). Este fenómeno não é novidade na aviação moderna, porque desde que começaram a surgir os aviões mais rápidos que este fenómeno passou a ser reportado. Mas, uma vez que se verifica mesmo com baixos níveis de G's, tudo depende da preparação do piloto. O que traz então de novo a aeronave de alta performance?

Como referido no Capítulo 3, a agilidade estrutural permite uma aeronave deste tipo atingir um elevado número de G's e mantê-los por longos períodos, e como é uma aeronave ágil é capaz de explorar facilmente as acelerações em todos os seus eixos de rotação. Esta possibilidade agravou um problema como o efeito "*push-pull*", ou seja, a capacidade de passar de G negativo (-G) para G positivo (+G), o que reduz a capacidade do ser humano de aguentar as acelerações. Uma vez que as aeronaves estão preparadas para serem submetidas a este tipo de manobras, o piloto terá que estar treinado para tal, caso contrário não será capaz de suportar tão variado tipo de acelerações.

É certo que além da preparação física e do treino que os pilotos requerem, é necessário que exista também uma evolução nos sistemas de apoio, como os anti-G's. Já existem equipamentos mais modernos que atenuam este tipo de consequência, no entanto é necessário adquiri-los e equipar os pilotos.

**b. Efeitos Cardiopulmonares**

Os problemas cardiopulmonares resultam da descompressão. O que já não é novidade, pois desde que o homem ultrapassou o seu patamar fisiológico (altitude máxima a que o ser humano pode sobreviver sem o auxílio de sistema de oxigénio) que se deparou com este problema. Esta doença manifesta-se pela falta de oxigénio no sangue e se não for detectada atempadamente leva à inconsciência. Nas aeronaves de alta performance, os pilotos estão mais sujeitos a depararem-se com a descompressão do que os outros. Mas porque?

Se analisarmos a evolução das aeronaves, esta progrediu para tectos de operação extremamente elevados, basta ver o recente F-22 e o *Euro Fighter* que podem operar a 60 000 Ft, e até mesmo o F-16 pode operar a 50 000 Ft. O voo a estas altitudes expõe durante muito mais tempo os pilotos à Doença de Descompressão. Há dados que revelam que acima do patamar dos 21 000 Ft de altitude existe mais de 50% de hipótese de um piloto se deparar com sintomas de doença de descompressão.

Tendo em conta os valores acima referidos é de assumir que esta será também uma das principais consequências do voo em aviões de alta performance.

O único modo de tentar prevenir este tipo de situação passa primariamente pelo treino do piloto no reconhecimento das situações que a doença por descompressão provoca, para que possa identificar rapidamente os sintomas e sair das zonas de risco mas também, e como referido pela NATO RTO - (HFM) e pela NASA, um melhoramento nos sistemas de pressurização das cabines neste tipo de aviões iria sem dúvida melhorar este tipo de situação.

**c. Consequências físicas na coluna vertebral**

O voo em aeronaves de alta performance não é recente, e actualmente, já existe um elevado número de pilotos a operar este tipo de aeronaves. Tendo em conta este número foi possível nos últimos anos recolher mais dados sobre se realmente haveria risco de deformação ou de simples lesões na coluna vertebral.

Este problema aparece devido ao crescente número de operações aéreas e à exploração intensiva deste tipo de aeronaves. Cada vez mais os pilotos são obrigados a treinar mais, de modo a manterem a sua operacionalidade e, nas operações reais, conseguirem executar mais saídas de modo à rentabilização dos meios.

Esta exploração levou a que recentemente cada vez mais pilotos se queixassem de dores nas costas e no pescoço que estavam relacionados com a operação. Este tipo de aviões é construído de modo a serem explorados no limite máximo, e num ambiente de missão extremamente arriscado, em que estão sujeitos a um elevado número de G's.

Devido ao número de situações relatadas existem actualmente estudos publicados que demonstram que há uma relação entre o tipo de operação e as consequências físicas.

A Força Aérea Holandesa, em 1982, começou a estudar este assunto e efectuou um teste a 128 pilotos de F-16 de modo a que fosse possível analisar, oito anos depois, se a operação contínua dessa aeronave provocava degeneração na coluna vertebral. O resultado foi explícito e de facto existe uma degeneração rápida na coluna embora não conduza a incapacidade física. Este estudo encontra-se publicado em RTO – *Meeting Proceedings* 33, de Outubro de 1999.

No futuro não se prevê que este tipo de situação possa melhorar. Uma das últimas inovações ocorridas foi nos sistemas de apoio. Nomeadamente nos capacetes de voo com a introdução de *displays*. No entanto, estes provocaram um aumento de peso do capacete o que implicou um acréscimo de casos com dores no pescoço.

Um artigo publicado na ASEM em Abril de 2005 sobre, fadiga muscular na zona do pescoço, analisou estas dores e as suas consequências, e concluiu que os pilotos de caça deviam obrigatoriamente reforçar os músculos no pescoço, caso contrário corriam o risco de sofrer lesões musculares, derivado à fadiga muscular.

Esta fadiga quando acumulada pode aumentar o risco de lesão e reduzir a efectividade na missão. Para justificar isto basta dizer que a falta de liberdade de movimentos, na cabeça, para um piloto de caça em combate ar – ar limita seriamente a sua visão de toda a área envolvente, que é essencial para o sucesso da sua missão. A fadiga e as dores são factores motivadores de desconforto e falta de concentração.

#### **d. Efeitos Vestibulares e Sensoriais / Desorientação Espacial**

A desorientação espacial é, sem dúvida, uma das consequências mais graves do voo em aviões de alta performance. Esta pode ser dividida em três níveis,

iniciando no mais baixo, que não é perceptível ao piloto, até ao mais grave que é incapacitante para o piloto, ou seja, impede-o de desempenhar o seu papel a bordo.

Sempre foi sabido como se comporta o sistema vestibular e sensorial em voo e as ilusões que ele provoca ao piloto. O importante a realçar neste aspecto é que ultimamente, e como já foi referido neste trabalho, tem havido uma preocupação para desenvolver um ambiente de *cockpit* que seja melhor na sua integração com o piloto visando proporcionar-lhe toda a informação necessária para que este se mantenha orientado em relação à atitude de voo.

Este problema é levantado quando se pensa que futuramente os aviões poderão efectuar manobras diferentes que lhes conferem uma maior agilidade e que irão de certeza expor o piloto a acelerações não convencionais actualmente.

É sabido que acelerações de translação e de rotação afectam a orientação espacial. Teme-se agora que, as acelerações laterais produzidas pelos novos sistemas de propulsão vectorizada, juntamente com as outras venham trazer mais problemas ao sistema vestibular do ser humano.

É referido num artigo da ASEM sobre *Factor in Crashes Involving Space Disorientation* de Julho de 2005, que os pilotos das aeronaves monolugares, que são o caso específico dos pilotos de F – 16, são os que estão mais expostos a este risco. Contudo refere também que um segundo operador neste caso não melhorava a prevenção nesta área.

Estas aeronaves têm a capacidade de voar em quase todas as condições atmosféricas, seja de dia ou de noite, o que também contribui para que este risco aumente. No artigo referido acima são fornecidos dados que revelam a importância deste assunto, onde concluem que 23% dos acidentes que ocorreram teve na origem a DE (Desorientação Espacial) de Classe A, ou seja, situação onde se perdeu a aeronave ou o piloto durante a noite.

Através da análise de outro estudo publicado na ASEM, em Junho de 2006, relativo a acidentes relacionados com a DE retiram-se outros dados. Nomeadamente, na Força Aérea Americana, entre 1990 e 2004, constata-se um aumento destes casos e que a origem resulta do melhoramento das aeronaves, na busca de uma maior agilidade estrutural.

Esse mesmo artigo apresenta estatísticas acerca da desorientação espacial em diferentes tipos de aeronaves. Assim, na *Royal Netherlands Air Force* 78% dos pilotos de F-16 já relataram DE e a Força Aérea Americana crê que 1/3 de todos os

acidentes em F-15 e F-16 são devidos a DE. Estes dois estudos vem recentemente mostrar que para além de o piloto de aviões de alta performance ter de estar bem preparado fisicamente, necessita acima de tudo ter capacidade para gerir todos os sistemas da aeronave e saber retirar as informações indispensáveis à sua sobrevivência.

Este tipo de consequência e segundo o autor deste artigo deve ser focado ao nível do ambiente operacional. A DE não se pode impedir mas deve-se possuir conhecimentos para avaliar em que situações são mais susceptíveis de acontecer, de forma a se estar em alerta e para a poder controlar. Ela depende das condições do voo e deve ser realçada em briefing antes de voo. Um bom conhecimento sobre o assunto pode fazer a diferença.

#### **e. Fadiga**

A fadiga já foi referenciada neste trabalho, sendo focada como fadiga psicológica ou física, apesar dos vários tipos de fadiga ela é definida como: “o estado de cansaço que está associado a longas horas de trabalho, períodos prolongados sem dormir, ou trabalhos executados fora do ritmo biológico ou ritmo cardíaco”.

Olhando para a definição de fadiga apresentada por *John A. Caldwell* (Psicólogo Investigador no Laboratório de Pesquisa da Força Aérea Americana para o programa de contra medidas para a fadiga em aviões de combate) no seu livro sobre Fadiga na Aviação, verifica-se rapidamente qual há justificação pela qual este factor aparece com alguma associação às aeronaves de alta performance militares.

Quando no primeiro capítulo se falou na busca consecutiva da melhor agilidade operacional uma das grandes vantagens nos nossos dias é as aeronaves serem capazes de efectuar longos períodos de operação, se associarmos esta capacidade ao grande fluxo de informação, as consequências físicas de desgaste devido aos G's e a operação dia e noite, a fadiga nestes pilotos é sempre factor a ter em consideração.

A fadiga nem sempre teve um papel importante na mente dos pilotos. Aparece agora, não só devido à elevada exigência operacional, mas também devido ao grande número de horas de voo que um piloto é obrigado a fazer para se manter qualificado. A exigência das qualificações para este tipo de aeronaves não se

compara com o que era há anos atrás. Na Força Aérea Portuguesa um piloto de F-16 necessita só para manter qualificações, no mínimo de 180 horas de voo anuais.

A fadiga provocada pela exigência das operações e da missão é real, ela deve ser levada a sério pois segundo o autor é um factor decisivo na redução da performance em voo. As causas da fadiga referidas são:

- Degradação da precisão e “*timing*” de acção;
- Baixo “*standards*” de performance, que inconscientemente são aceites;
- A atenção não é dividida eficazmente;
- A capacidade de interpretar e acumular informação é perdida;
- Dificuldade de execução de tarefas;
- Performance torna-se progressivamente inconsciente;
- Declínio das interacções sociais;
- Deterioração das atitudes e modos;
- Capacidade para discutir é imparcial;
- Capacidade para manter uma imagem clara das situações diminui;
- Atenção desvanece;
- Lapsos de sono involuntários começam a ocorrer.

No livro sobre a fadiga na aviação são apresentados dados que revelam esta preocupação. A fadiga contribuiu para 25% dos acidentes na *Air Force Night Tactical Fighter*, não esquecendo outro caso, passado em 2002, sobre um acidente de “fogo amigo” causado por um F-16 da USAF, que como resultado da investigação se apontou para a fadiga, o que voltou a chamar a atenção sobre o impacto da fadiga na aviação militar.

A fadiga está hoje ligada a todos os patamares da vida do ser humano e passa por ser identificada na vida social, pessoal e profissional das pessoas. Quando conjugados todos estes factores, o tempo para descanso torna-se insuficiente. Os pilotos devem ter a consciência das exigências que as suas funções comportam.

O ritmo de vida hoje é tão elevado que se chegou à conclusão que os períodos de sono do ser humano foram reduzidos para valores de seis a sete horas de sono, em média por noite e que estas horas de descanso estão abaixo do limite das oito horas. No livro acima referido podemos verificar vários estudos realizados. Quando se reduz os níveis de sono abaixo destas horas conclui-se que os níveis de performance são gravemente afectados.

Se as operações aéreas podem hoje em dia ser estendidas por longas horas, ou por um elevado número de voos num dia, a fadiga é o primeiro ponto a ter em consideração pois contribui para que os limites de reacção e de resistência no início do voo já se encontrem abaixo do normal.

Estes parâmetros sujeitos ao desgaste e exigência do voo das aeronaves de alta performance são um perigo e contribuem para um elevado factor de risco.

#### **4. Selecção e Treino**

O treino não é uma consequência directa do voo mas é sem dúvida um factor resultante da exigência deste tipo de aeronaves porque tem implicações directas no desempenho do piloto em voo, pois o avião é exigente para o piloto.

Foi referido em quase todos os capítulos a necessidade de treino específico. Este treino deve ser efectuado com o intuito de colmatar ou limitar as dificuldades que o piloto pode ter quando confrontado com as consequências psicológicas e físicas, resultantes do voo em aeronaves com elevada agilidade operacional. Mas antes de chegar ao treino existe um patamar que tem obrigatoriamente que ser aperfeiçoado, a Selecção.

##### **a. Selecção**

No trabalho desenvolvido pelo WG 27, a parte da selecção e treino é o aspecto que este grupo de trabalho realça como o mais importante. Não se pode esquecer que foi este grupo a definir a agilidade humana, ou seja, o piloto como factor chave na relação entre a agilidade estrutural, a de sistemas e a de armas. Esta selecção deve ser realizada como melhoria no *interface* entre piloto e a máquina, designado como PVI (*Pilot Vehicle Interface*). Para atingir essa melhoria este grupo definiu que os aspectos a ter em consideração são a selecção e o treino dos pilotos.

Este grupo realçou algumas ideias que são essenciais neste processo de aquisição de agilidade humana, são elas:

- A selecção desempenha um papel importante ao nível físico, intelectual e no modo de lidar com Stresse;
- Restrições humanas ao nível muscular, ósseo, cardiovascular, respiratório, sensorial e mental devem ser discutidos;
- Estilo de vida e treino têm implicação no voo;



- Treino específico em determinadas áreas como tolerância a G's, resistência física no pescoço e costas e alguma tolerância hipobárica;
- Treino específico combinado, que vai proporcionar treino em ambientes de maior complexidade;
- Futuramente deverá existir simuladores de missão no chão.

A figura 7 mostra esquematicamente como os pontos referidos anteriormente se relacionam na busca do objectivo final que é a missão.

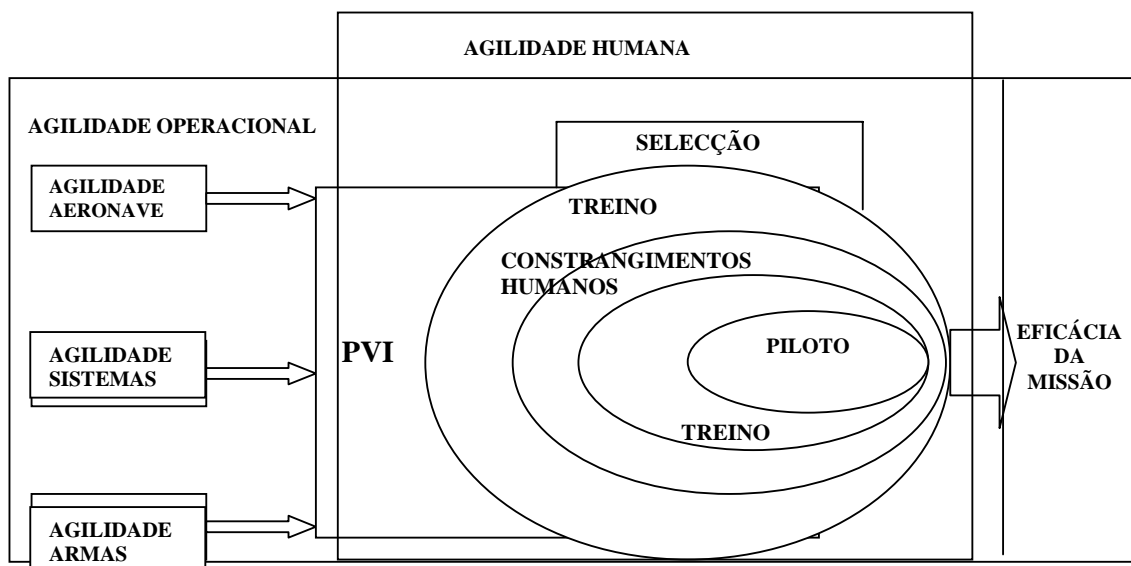


Figura 7 – Agilidade humana no contexto da agilidade operacional

Não é possível assumir que a selecção e o treino devem ser iguais para todos os pilotos, à que dar um passo em frente e tentar arranjar meios de seleccionar pessoal específico para este tipo de aeronaves. Actualmente existe a consciência que um piloto militar de aviões de alta performance deve possuir determinadas características, não só ao nível físico mas também psicológico, uma vez que isso nos dias de hoje, assume um papel de relevo. Todas estas características devem ser avaliadas e rectificadas à medida que as aeronaves vão evoluindo. Presentemente, há nove pontos de selecção que se consideram importantes para quem opera aeronaves de elevada agilidade, que são:

- Sistema visual;

O sistema visual desempenha um papel importante no voo especialmente porque é ele o primeiro a detectar e corrigir algo. Isto é extremamente importante nas aeronaves de elevada agilidade operacional. Novos exames médicos podem

hoje definir quais os mais capazes de executar o trabalho cognitivo, pois a visão é o meio de o adquirir.

- Sistema vestibular e auditivo;

Mudanças rápidas de acelerações vectoriais podem criar implicações fisiológicas ao nível do sistema vestibular. Devem ser criados novos testes de modo poder verificar como é que reage o sistema a estas novas acelerações.

- Sistema respiratório;

Devido aos sistemas de respiração positiva, debitado nas mascaras de oxigénio, necessário para auxiliar a respiração a 7 G's, torna-se importante no futuro efectuar exames médicos para verificar a capacidade muscular da inspiração e exames sobre o consumo de tabaco e suas implicações.

- Sistema cardiovascular;

São necessários mais estudos para estabelecer que factores ao nível cardiovascular contribuem para uma boa tolerância aos G's.

- Estrutura muscular;

Deve ser encontrado um maior balanço na força muscular, não se devendo olhar só para a capacidade da massa muscular. Deve-se ter em conta que é essencial também uma capacidade de resistência necessária à execução de missões de longa duração.

- Factores físicos a ter em consideração, costas e pescoço;

Deve ser efectuado treino específico para estas zonas do corpo.

- Factores cognitivos e nervosos;

A capacidade cognitiva é sem dúvida uma característica essencial para este tipo de aeronave, devem ser criados testes de modo a se averiguar quem possui melhores capacidades para operar este tipo de aeronaves.

- Capacidade de resistência ao Stresse;

Devem ser criados testes onde seja possível simular o Stresse do voo de modo a averiguar o estado de reacção do sistema nervoso.

- Percepção situacional;

Sendo isto definido como a capacidade de estar atento a tudo. É essencial criar situações onde seja possível conceber um ambiente complexo e averiguar a percepção do piloto para todas as situações.

Todos estes pontos provavelmente já são considerados na selecção dos pilotos, contudo é necessário rever os parâmetros para o tipo de aeronave que se

tem estado a analisar. Todos eles contribuem para a estrutura de treino que seguidamente é apresentada.

#### b. Treino

Passada a fase da selecção segue-se o treino. Este é cada vez mais essencial para a sobrevivência do piloto. Deve ser exigente, rigoroso e o mais realista possível.

O WG 27 estabeleceu uma pirâmide, figura 8., que representa a estrutura ideal de treino para uma aeronave de elevada agilidade operacional. Tendo como início os critérios de selecção, nesta pirâmide aparece representada todas as fases e conhecimentos pelos quais os pilotos devem passar até atingirem a sua agilidade máxima.

Se repararmos bem, os dois últimos níveis da pirâmide é que reflectem o voo em si. Até lá chegar existe todo um trabalho de selecção e treino necessário para se averiguar se o piloto realmente tem capacidade ou não. Ele é feito primariamente através de uma selecção rigorosa e depois é apoiado em simuladores de vários tipos.

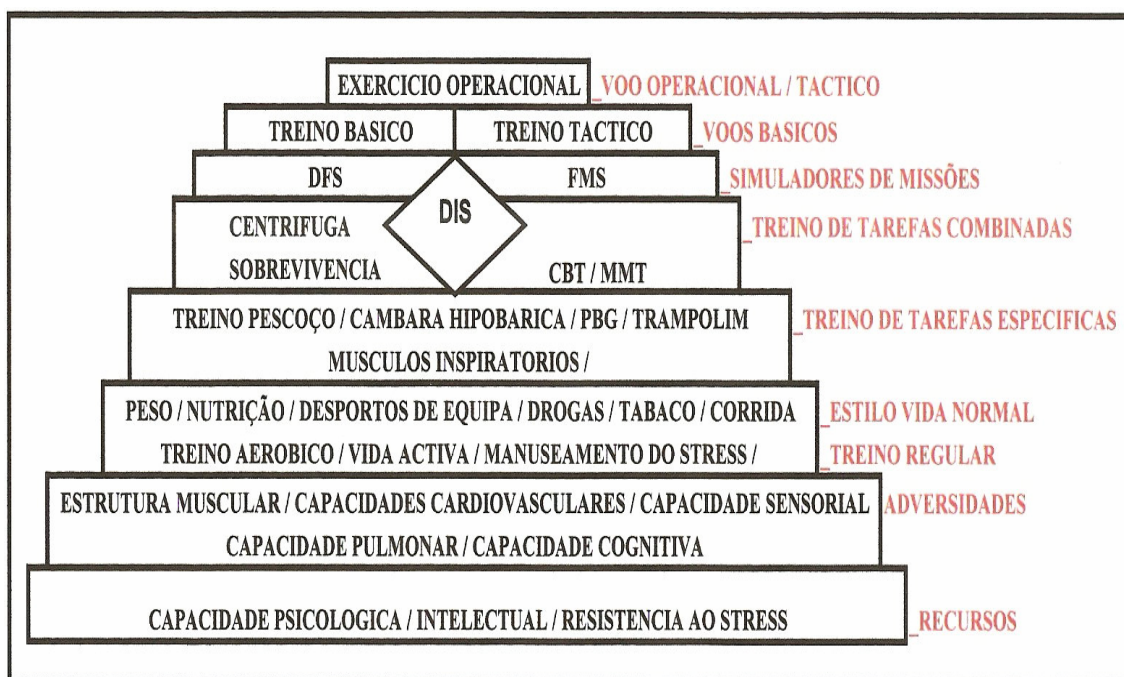


Figura 8 – Estrutura de treino para aviões super ágeis

**Legenda:** CBT – Computer base Training / MMT- Multi Mission Trainers / FMS - Full Mission Simulators / DIS – Distributive Interactive Simulator / DFS – Dynamic Flight Simulator / PBG – Pressure Breathing during G

Todo o esforço na selecção e preparação é enorme e dispendioso. Nem todas as forças aéreas tem a capacidade, principalmente para montar, e supervisionar uma estrutura desta, mas se houver conhecimento e vontade, muitos dos pontos ali apresentados podem e devem ser colmatados

Deve-se ter a noção que cada vez mais existem dificuldades orçamentais, e são os países nas quais a Força Aérea tem um reduzido número de meios e recursos que a situação piora. Por vezes até existem os meios mas não se consegue providenciar o treino adequado aos pilotos tornando-se num factor crítico para a operação destas aeronaves. Deve-se contrariar esta situação e não deixar-se cair em esquecimento que é necessário apostar na formação, e na manutenção do treino para mais tarde não ter custos que possam ser intoleráveis ou mesmos irreversíveis, como a vida humana.

A segurança é tudo. Num estudo feito aos pilotos do exército americano apresentado pela RTO na publicação RTO – *Meeting Proceedings* 33, de Outubro de 1999, sobre o efeito do envelhecimento na aviação, verificou-se que os pilotos com mais idade demonstravam maior grau de segurança pois os índices de acidentes eram quase nulos. Da análise feita sobre os factores que afectavam estes pilotos concluiu-se que apesar das capacidades cognitivas e psicomotoras reduzirem com a idade, a experiência adquirida ao longo dos anos de treino e das missões que efectuaram, permitia que não perdessem tanto tempo com a área da pilotagem e dispusessem de maior atenção para os sistemas e para a operação, tornando-os em operadores seguros.

Neste trabalho aborda-se o impacto do voo no piloto e refere-se que nos dois níveis mais baixo do sistema de classificação de acidentes da HFACS são os que revelam mais causas imputadas aos pilotos mas, os dois níveis acima, são os de influência na falha de supervisão e da instituição.

A instituição é a primeira responsável por criar as condições para que as missões se possam desenrolar em segurança.

## Conclusões

Com a evolução das aeronaves existe cada vez mais a necessidade de desenvolver as capacidades humanas porque as exigências a que um piloto é sujeito, actualmente, são diferentes das que eram à 50 anos atrás.

Na operação de aeronaves de alta performance, deixa de contar apenas a aeronave. É necessário olhar para todo o sistema envolvente. A busca da Agilidade Operacional é sem dúvida, uma das tarefas mais exigentes que se pode atribuir a um piloto. O conceito de agilidade operacional permite verificar quais as causas que futuramente afectarão o piloto deste tipo de aviões.

As causas analisadas nos diversos capítulos foram escolhidas não por serem novidade, mas sim por se manifestarem também noutros tipos de aeronaves, apesar de formas diferentes, e como tal, tem dado origem a várias questões que diversas organizações ligadas à segurança aérea tentam responder através dos seus estudos.

A intenção neste trabalho não foi de aprofundar ao pormenor cada uma das causas mas sim alertar para a necessidade de uma investigação mais profunda sobre as mesmas que, à primeira vista, são responsáveis por causarem maior limitação na performance do piloto. Pretendeu-se verificar se as hipóteses levantadas no capítulo 1 continuam a ser validas e quais os factores que as afectam.

**Hipótese 1- O piloto continua a ser capaz de assimilar toda a informação necessária à boa resolução da missão.** Esta hipótese é verdadeira partindo do pressuposto que este detém a capacidade cognitiva necessária para executar as tarefas que lhe são pedidas, capacidade averiguada num processo de selecção que deve ser rigoroso como especificado no capítulo 4.

**Hipótese 2 - O piloto tem evoluído ao mesmo ritmo dos aviões.** Esta hipótese considera-se valida tendo em conta o esforço que tem sido desenvolvido, por parte de entidades que desenvolvem estudos e tecnologia, de modo a permitir ao piloto ter melhores conhecimentos, capacidades físicas e psicológicas para lidar com o ambiente de “*cockpit*”.

**Hipótese 3 - O piloto com treino adequado é capaz de resistir fisicamente e psicologicamente às exigências do voo imposto pela aeronave.** A hipótese 3 deve ser considerada verdadeira partindo do princípio que a estrutura de treino definida, como essencial para pilotos de aeronaves de elevada agilidade, no capítulo 4, é neste momento a adequada para as aeronaves actuais e futuras.

Partindo da pergunta central: **Com o evoluir das aeronaves de alta performance quais os factores humanos que afectam o desempenho do piloto militar?** Chegou-se à conclusão que existem diversos factores que causam impacto no organismo humano resultantes da operação neste tipo de aeronaves. Estes factores são considerados fulcrais. Como tal, existe ainda muito a fazer para que o ser humano continue a acompanhar a evolução da agilidade estrutural, dos sistemas e das armas. Tem de existir uma preocupação permanente nas três áreas definidas como importantes na relação homem máquina, a área física, psicológica e selecção / treino.

O aumento da agilidade estrutural vem provocar novos desafios ao ser humano. Assim sendo, este tem que apostar na sua preparação e desenvolver sistemas de apoio que possibilitem o desempenho do seu papel dentro do ambiente do “*cockpit*”.

O aumento da agilidade dos sistemas vem exigir cada vez mais das capacidades psicológicas do piloto. Deste modo, o piloto deverá ter uma elevada capacidade cognitiva de forma a ter habilidade para gerir todo o fluxo de informação debitada pelos sistemas e permitir analisar a dimensão das missões.

A complexidade das missões aumentou devido às capacidades que as aeronaves possuem para desempenhar um diferenciado número de missões em simultâneo, o que provoca um aumento da carga de trabalho do piloto no “*cockpit*”. Os conhecimentos que este deverá possuir também aumentam devido à necessidade de lidar com os sistemas e de executar a missão. O piloto deverá assim aprender a lidar com o stress imposto por todas estas situações. Só desta forma conseguirá resolver grande parte dos problemas, e aumentar o tempo disponível para lidar com outras situações.

Como foi referido as capacidades cognitivas devem progredir. São elas, no futuro, que vão garantir que exista um bom desempenho do piloto. Os aviões deixaram de ser apenas rápidos e manobráveis, são hoje um complexo de sistemas capazes de cada vez mais passar grandes níveis de informação, e as capacidades psicomotoras terão cada vez menos importância no desempenho das missões.

Apesar da preocupação recente virada para as capacidades cognitivas e psicomotoras que o piloto terá que ter, os problemas físicos estão longe de serem resolvidos. A exposição do organismo a um ambiente de voo de alta performance é severa.

O organismo é exposto a acelerações que provocam problemas cardiovasculares, cardiopulmonares, desorientação, fadiga podendo ser agravados tendo em conta a exigência da missão em si.

Na busca de uma melhor agilidade é necessário melhorar também o elo responsável pela gestão de tudo. Falamos do ser humano. O contínuo estudo para tentar melhorar a agilidade humana não pode ficar aquém das outras evoluções pois corre-se o risco de a determinado momento o homem não ser capaz de assumir o controlo pleno da aeronave.

Todos os factores humanos têm diferentes níveis e efeitos, mas todos eles são responsáveis por provocarem uma limitação ao piloto, que o pode levar a uma percepção errada da situação e conduzir ao erro ou até mesmo ao acidente.

Efeitos como o G – LOC e a desorientação espacial continuam a ocorrer com uma certa frequência, seja em aeronaves convencionais ou de alta performance mas é na última que os pilotos estão sujeitos a um maior risco e onde os efeitos podem ser mais graves.

A cada avanço tecnológico deve responder um progresso ao nível do apoio ao piloto, dos procedimentos e das técnicas de treino, a fim de limitar as consequências resultantes do voo. Nunca podemos desleixar os sistemas de apoio ao piloto. Fala-se de *cockpits* bem adaptados ao ser humano e de outros sistemas que lhe permitam maior conforto a bordo.

Apesar de todas as considerações acima referidas em relação aos factores psicológicos, físicos e do melhoramento de sistemas, este trabalho alerta também para a importância do factor selecção e treino, considerado pelo WG 27 como sendo actualmente o que mais contribui para um desempenho seguro por parte dos pilotos. O que não invalida a necessidade de relembrar da importância do aperfeiçoamento dos outros factores.

Deve ser efectuada, como à semelhança de outros países, um acompanhamento médico da evolução clínica ao longo dos anos dos pilotos de aeronaves de alta performance, de modo a que se possa prevenir situações mais graves.

A selecção e o treino são factores que podem reduzir consideravelmente os outros assinalados neste trabalho. Não nos podemos esquecer que quase 70 % dos acidentes estão relacionados com factores humanos e que grande parte dos acidentes em aeronaves militares ocorrem precisamente onde existe o maior risco, nos aviões de alta performance.

Quanto melhor for a selecção e mais treino se proporcionar aos pilotos maior experiência adquirem, podendo por vezes ser o necessário para identificar situações acima descritas que podem ser perigosas.

Ao considerar o método de analisar e investigar acidentes, o HFACS, e olhando com atenção os seus quatro níveis de responsabilidade no acidente, verifica-se que nos níveis mais baixos as causas dos acidentes referenciados são devido, em grande parte, a factores psicológicos e físicos, e factores de treino.

Relativamente a estes assuntos têm sido publicados estudos, ao longo dos anos, tendo a maior parte dos autores reforçado sempre a ideia da contínua observação e estudo dos factores humanos que podem colocar em risco a operação das aeronaves. Actualmente existem dados recolhidos que permitem verificar com que frequência estes factores aparecem e em que situações. Dados como estes foram referenciados neste trabalho.

Existe também hoje em dia, um vasto testemunho de pilotos militares que relatam situações pelas quais passaram e que lhes causaram bastantes problemas, especialmente aos comandos de aeronaves de alta performance, porque são estas que devido à sua natureza tem causado elevado número de acidentes.

Apesar de todos estes factores, os pilotos continuam ainda a ser capazes de desempenhar o seu papel a bordo deste tipo de aeronaves, mas com a consciência do risco que a sua operação acarreta, isto porque tem sempre havido uma preocupação por parte de organizações que se dedicam à investigação da melhoria da qualidade das aeronaves e a da preparação dos pilotos.

Na Força Aérea Portuguesa sempre houve desde o início do F-16 uma preocupação com os pilotos e com o seu treino. Tendo em atenção que esta aeronave se encontra agora a sofrer melhoramentos que lhe vão permitir atingir uma maior agilidade operacional, estará presente todas as implicações que possam trazer. Como é lembrado pelos próprios pilotos, o F-16 MLU não tem nada a ver com o primeiro. Este permite desenrolar já quase todo o tipo de missões com todo o tipo de armamento e em quase todas as condições de dia ou de noite.

Mais importante e, tendo em conta as dificuldades financeiras da Força Aérea Portuguesa, resta saber se está a ser assegurado todo o treino necessário às tripulações que futuramente irão operar os F-16 MLU e se actualmente, o nosso método de selecção é o mais correcto para escolher os pilotos para operar estas aeronaves. Lembra-se que segundo os estudos efectuados, os pilotos devem ser detentores de certas capacidades de modo a que possam desenrolar a sua actividade em segurança.

As instituições tem que se precaver o futuro e perante a aquisição de novos sistemas de armas apostarem na selecção, na formação, e na preparação dos pilotos para as missões que lhes vão ser atribuídas aos comandos de aeronaves extremamente sofisticadas e exigentes.

Há que ter em mente que no futuro, uma aeronave de alta performance com elevada Agilidade Operacional não tolera a falta de capacidades, de conhecimentos e de treino.



## **Bibliografia**

**Äng Björn, et al. (2005), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 76, Nº4. (April 2005). Neck Strength and Myoelectric Fatigue in Fighter and Helicopter Pilots a History of Neck Pain

**Burnett, Angus F. et al. (2004), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 75, Nº7. (July 2004). Flight-Training Effect on Cervical Muscle Isometric Strength of Trainee Pilot

**Caldwell, John A. and Caldwell, J. Lynn (2003).** Fatigue in Aviation: A Guide to Staying Awake at the Stick. Aldershot: Ashgate

**DOT/FAA/AM-00/7, U. S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration (February 2000).** The Human Factors Analysis and Classification System - HFACS

**Li, Wen-Chin and Harris, Don (2006), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 77, Nº10. (October 2005). Pilot Error Its Relationship With Higher Organizational Levels: HFACS Analysis of 523 Accidents

**Lyons, Terence J. et al. (2006), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 77, Nº7. (July 2006). Aircraft and Related Factors in Crashes Involving Spatial Disorientation: 15 Years of U. S. Air Force Data

**NASA Human Factor Research and Technology.** Human Factors 101, [Referencia de 15 Janeiro 2007]. Disponível na internet em: <<http://human-factors.arc.nasa.gov/web/hf101/index.html>>

**NATO AGARD-AR-314(April 1994).**Operational Agility,[Referencia de 20 Janeiro 2007]. Disponível na internet em: <<http://www.rta.nato.int/panel.asp?panel=HFM&topic=pubs>>

**NATO RTO-MP-33 AC / 323 (HFM) TP / 13 (October 1999).** Operational Issues of Aging Crewmembers. Disponível na internet em: <<http://www.rta.nato.int/panel.asp?panel=HFM&topic=pubs>>

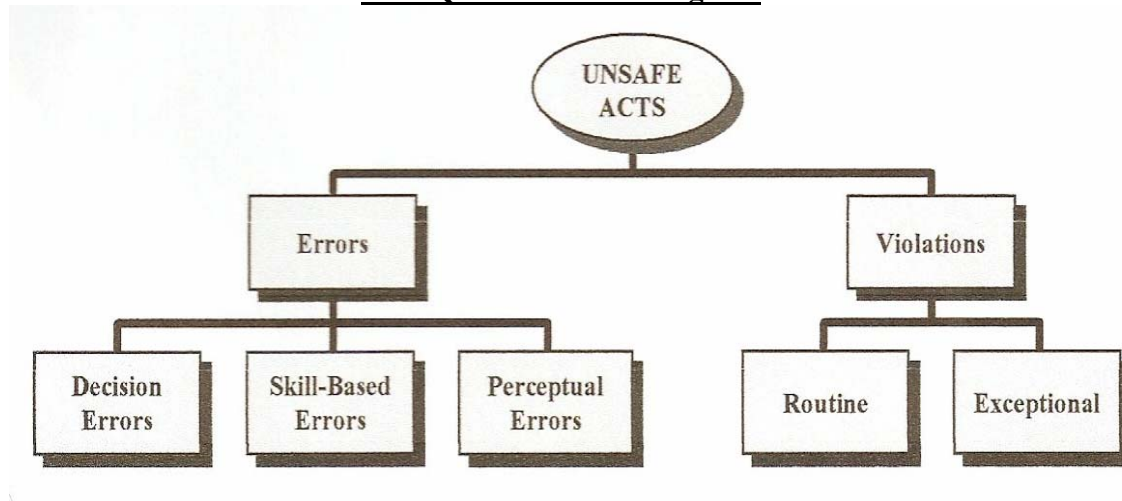
**NATO RTO-TR-015 AC / 323 (HFM-015) TP / 15 (May 2001).** Human Consequences of Agile Aircraft, [Referencia de 02 Fevereiro 2007]. Disponível na internet em: <<http://www.rta.nato.int/panel.asp?panel=HFM&topic=pubs>>

**Sevilla, Nereyda L. and Gardner, John W. (2005), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 76, N°4. (April 2005). G-Induced Loss of Consciousness: Case-Control Study of 78 G-LOCs in F-15, F-16, and A-10

**Tvaryanas, Anthony P. and Thompson, William T. (2006), Aviation, Space, and Environmental Medicine.** Vol. 77, N°11. (November 2005). Fatigue in Military Aviation Shift Workers: Survey Results for Selected Occupational Groups

## Anexo A – HFACS - Human Factors Analysis and Classification System

### Nível Quatro – Actos inseguros



#### **ERRORS**

##### **Skill-based Errors**

- Breakdown in visual scan
- Failed to prioritize attention
- Inadvertent use of flight controls
- Omitted step in procedure
- Omitted checklist item
- Poor technique
- Over-controlled the aircraft

##### **Decision Errors**

- Improper procedure
- Misdiagnosed emergency
- Wrong response to emergency
- Exceeded ability
- Inappropriate maneuver
- Poor decision

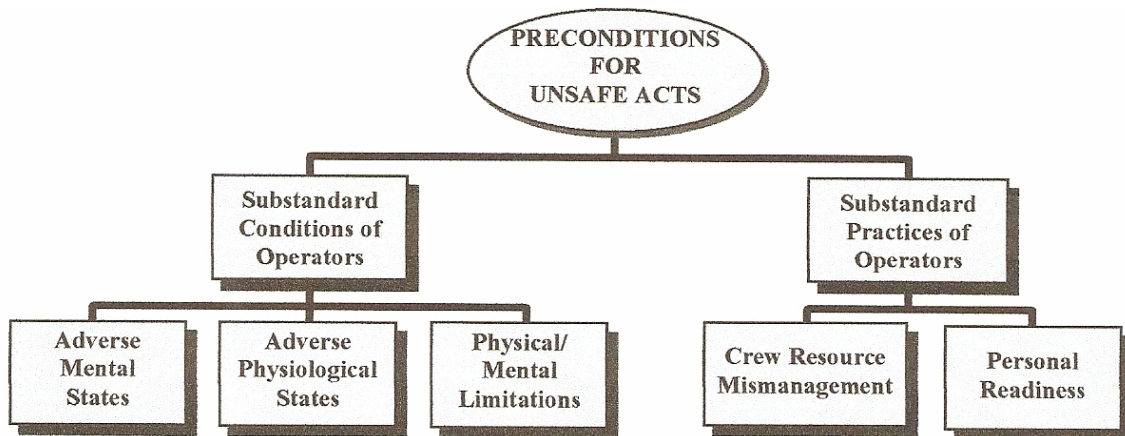
##### **Perceptual Errors (due to)**

- Misjudged distance/altitude/airspeed
- Spatial disorientation
- Visual illusion

#### **VIOLATIONS**

- Failed to adhere to brief
- Failed to use the radar altimeter
- Flew an unauthorized approach
- Violated training rules
- Flew an overaggressive maneuver
- Failed to properly prepare for the flight
- Briefed unauthorized flight
- Not current/qualified for the mission
- Intentionally exceeded the limits of the aircraft
- Continued low-altitude flight in VMC
- Unauthorized low-altitude canyon running

### Nível Três – Pré Condições para actos inseguros



#### SUBSTANDARD CONDITIONS OF OPERATORS

##### **Adverse Mental States**

- Channelized attention
- Complacency
- Distraction
- Mental fatigue
- Get-home-itis
- Haste
- Loss of situational awareness
- Misplaced motivation
- Task saturation

##### **Adverse Physiological States**

- Impaired physiological state
- Medical illness
- Physiological incapacitation
- Physical fatigue

##### **Physical/Mental Limitation**

- Insufficient reaction time
- Visual limitation
- Incompatible intelligence/aptitude
- Incompatible physical capability

#### SUBSTANDARD PRACTICE OF OPERATORS

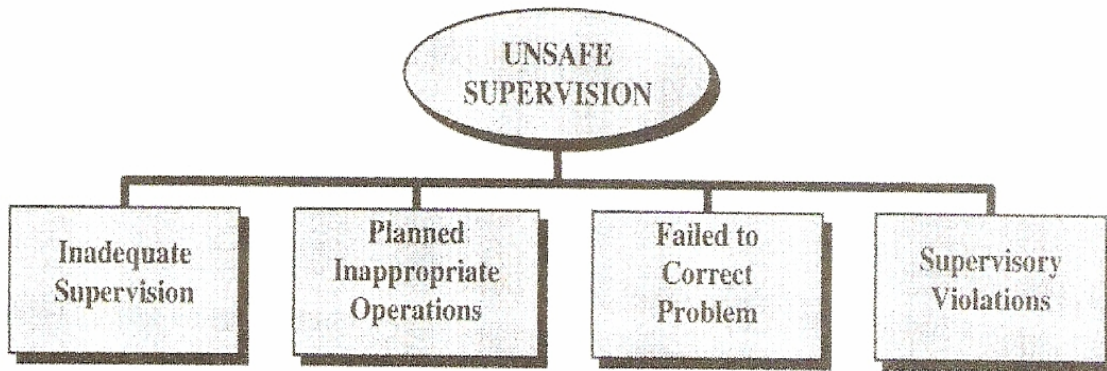
##### **Crew Resource Management**

- Failed to back-up
- Failed to communicate/coordinate
- Failed to conduct adequate brief
- Failed to use all available resources
- Failure of leadership
- Misinterpretation of traffic calls

##### **Personal Readiness**

- Excessive physical training
- Self-medicating
- Violation of crew rest requirement
- Violation of bottle-to-throttle requirement

### **Nível Dois – Supervisão Insegura**



#### **Inadequate Supervision**

- Failed to provide guidance
- Failed to provide operational doctrine
- Failed to provide oversight
- Failed to provide training
- Failed to track qualifications
- Failed to track performance

#### **Planned Inappropriate Operations**

- Failed to provide correct data
- Failed to provide adequate brief time
- Improper manning
- Mission not in accordance with rules/regulations
- Provided inadequate opportunity for crew rest

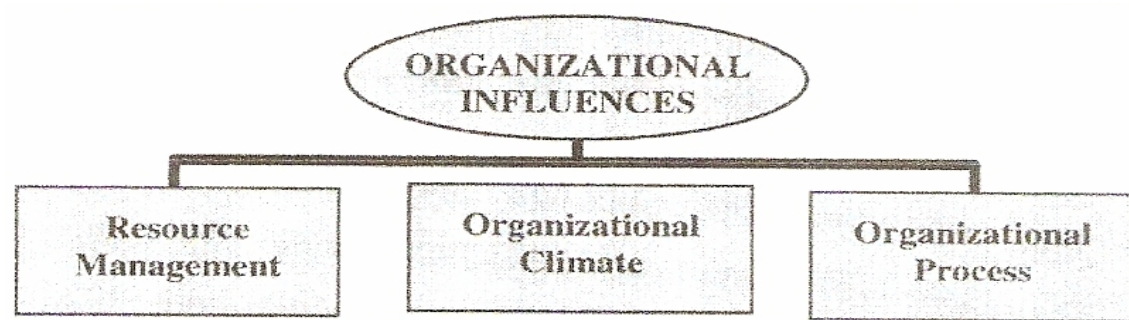
#### **Failed to Correct a Known Problem**

- Failed to correct document in error
- Failed to identify an at-risk aviator
- Failed to initiate corrective action
- Failed to report unsafe tendencies

#### **Supervisory Violations**

- Authorized unnecessary hazard
- Failed to enforce rules and regulations
- Authorized unqualified crew for flight

### Nível Um – Influencia Organizacional



#### **Resource/Acquisition Management**

##### **Human Resources**

Selection

Staffing/manning

Training

##### **Monetary/budget resources**

Excessive cost cutting

Lack of funding

##### **Equipment/facility resources**

Poor design

Purchasing of unsuitable equipment

#### **Organizational Climate**

##### **Structure**

Chain-of-command

Delegation of authority

Communication

Formal accountability for actions

##### **Policies**

Hiring and firing

Promotion

Drugs and alcohol

##### **Culture**

Norms and rules

Values and beliefs

Organizational justice

#### **Organizational Process**

##### **Operations**

Operational tempo

Time pressure

Production quotas

Incentives

Measurement/appraisal

Schedules

Deficient planning

##### **Procedures**

Standards

Clearly defined objectives

Documentation

Instructions

##### **Oversight**

Risk management

Safety programs